

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-223787

(43)Date of publication of application : 11.08.2000

(51)Int.Cl. H01S 5/323
H01S 5/12
H01S 5/223

(21)Application number : 11-020861

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 29.01.1999

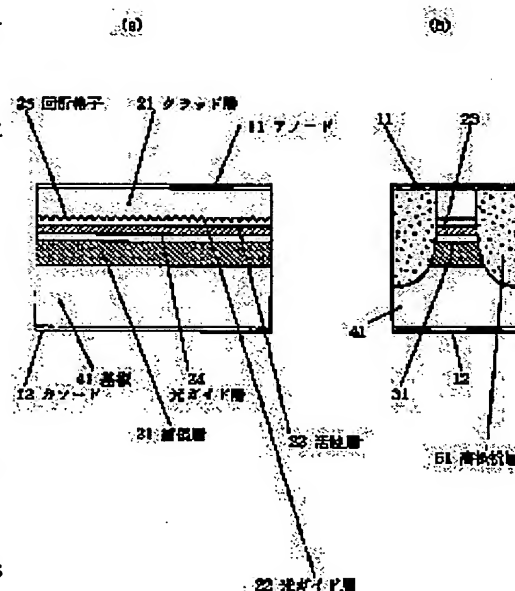
(72)Inventor : NUMAI TAKAAKI

(54) SEMICONDUCTOR LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser which displays at least, one effect out of an effect by which the length of a resonator or the equivalent refractive index of a waveguide becomes nearly constant with reference to a temperature change, and an effect which restrains an oscillation threshold current from being changed with reference to the temperature change.

SOLUTION: A semiconductor layer 31 in which the temperature coefficient of a refractive index is negative is used so that at least, an effect is displayed out of an effect by which the length of a resonator or the equivalent refractive index or a waveguide becomes nearly constant with reference to a temperature change, and an effect which restrains an oscillation threshold current from being changed with reference to the temperature change. When the semiconductor layer 31 is arranged in a region in which a laser beam exists, both effects can be expected. When the semiconductor layer is arranged in a region in which no laser beam exists, the effect which restrains the oscillation threshold current from being changed can be expected.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.12.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 02.12.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-223787

(P2000-223787A)

(43)公開日 平成12年8月11日(2000.8.11)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 S 5/323
5/12
5/223

H 0 1 S 3/18

6 7 3 5 F 0 7 3
6 4 2
6 6 4

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平11-20861

(22)出願日 平成11年1月29日(1999.1.29)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 沼居 貴陽

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74)代理人 100086483

弁理士 加藤 一男

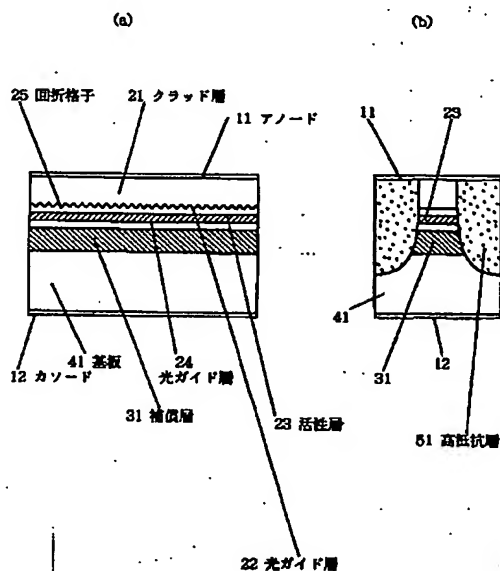
Fターム(参考) 5F073 AA22 AA45 AA51 AA64 CA12
CB19 EA03

(54)【発明の名称】 半導体レーザー

(57)【要約】

【課題】共振器長或は導波路の等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる効果と温度変化に対する発振しきい電流の変動を抑制する効果の少なくとも一方の効果を奏する半導体レーザーである。

【解決手段】共振器長或は導波路の等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる効果と温度変化に対する発振しきい電流の変動を抑制する効果の少なくとも一方の為に、屈折率の温度係数が負の半導体層31が用いられている。レーザー光の存在する領域にこの半導体層31が配置されていれば両方の効果が期待でき、レーザー光の存在しない領域にこの半導体層が配置されていれば、発振しきい電流の変動を抑制する効果が期待できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】共振器長或は導波路の等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる効果と温度変化に対する発振しきい電流の変動を抑制する効果の少なくとも一方の為に、屈折率の温度係数が負の半導体層が用いられていることを特徴とする半導体レーザー。

【請求項2】共振器長或は導波路の等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる様に、屈折率の温度係数が正の半導体層と、屈折率の温度係数が負の半導体層がレーザー光が存在する領域に用いられていることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザー。

【請求項3】レーザー光が存在する領域に前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層がほぼ並行的に積層方向に積層されていることを特徴とする請求項2記載の半導体レーザー。

【請求項4】クラッド層、光ガイド層、活性層のうち少なくとも1層が、夫々、前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層であることを特徴とする請求項2または3記載の半導体レーザー。

【請求項5】前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層の一方が半導体活性層であることを特徴とする請求項4記載の半導体レーザー。

【請求項6】前記半導体活性層を挟んだ上下の少なくとも一方に、屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層の他方がほぼ並行的に積層されていることを特徴とする請求項5記載の半導体レーザー。

【請求項7】前記屈折率の温度係数が正の半導体層が半導体活性層であることを特徴とする請求項5または6記載の半導体レーザー。

【請求項8】屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層が積層方向を法線とするほぼ同一面内であって、かつ光の伝搬方向に垂直な方向に配置され、かつレーザー光が存在する領域に前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層が配置されていることを特徴とする請求項2記載の半導体レーザー。

【請求項9】屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層が交互に並行的に配置されていることを特徴とする請求項8記載の半導体レーザー。

【請求項10】前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層の一方が半導体活性層であることを特徴とする請求項8または9記載の半導体レーザー。

【請求項11】前記半導体活性層を挟んだ左右の少なくとも一方に、屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層の他方がほぼ並行的に配置されていることを特徴とする請求項10記載の半導体レ

ザー。

【請求項12】前記屈折率の温度係数が正の半導体層が半導体活性層であることを特徴とする請求項10または11記載の半導体レーザー。

【請求項13】請求項3乃至7の何れかに記載の層構造と、請求項8乃至12の何れかに記載の層構造を合わせ持つことを特徴とする半導体レーザー。

【請求項14】屈折率の正の温度係数 α と、屈折率の負の温度係数 β と、前記屈折率の温度係数が負の半導体層に対する光閉じ込め係数 Γ との間に $\beta = -(1 - \Gamma) \alpha / \Gamma$ なる関係があることを特徴とする請求項2乃至13の何れかに記載の半導体レーザー。

【請求項15】分布帰還型半導体レーザーとして構成されていることを特徴とする請求項1乃至14の何れかに記載の半導体レーザー。

【請求項16】分布反射型半導体レーザーとして構成され、回折格子領域と活性層領域の両方が請求項1乃至14の何れかに記載の層構成を有することを特徴とする半導体レーザー。

【請求項17】ファブリ・ペロー半導体レーザーとして構成されていることを特徴とする請求項1乃至14の何れかに記載の半導体レーザー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重光通信システムの光源等として用いられる半導体レーザー、特に、正と負の屈折率の温度係数を持つ半導体層を合わせ持つ波長安定化半導体レーザーに関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザー(Laser Diode, LD)は、周囲の温度によって、その発振波長が変動する。これは、温度によって、原子間隔が変わると同時に格子振動の大きさが変わるために、エネルギーバンドと屈折率が変化するためである。ここで、一般に、バンドギャップが広くなれば、屈折率が小さくなる。

【0003】導波型のファブリ・ペローLDは、利得スペクトルの中に多数の共振モード(縦モード)を持ち、共振モードの中で利得ピークに最も近い波長で発振する。この共振波長は光導波路の等価屈折率に比例し、利得ピークはエネルギーバンドの形によって変化する。したがって、ファブリ・ペローLDの発振波長はエネルギーバンドと屈折率の両方の影響を受ける。

【0004】一方、DFB-LDの発振波長は、両端面の反射が無視できるほど小さければ、内蔵した回折格子のピッチと光導波路の等価屈折率で決まる。すなわち、利得ピークの波長とは関係がない。したがって、屈折率の影響のみを受ける。もちろん、利得ピークと共振波長との差が大きく、共振波長で発振しきい利得に達しなければ発振しない。しかし、発振波長が利得ピークの波長の影響を受けるわけではない。DBR-LDでも、この

事情はほぼ同じである。

【0005】さて、情報容量の増大に伴って、光ファイバー通信は、幹線系だけでなく家庭など加入者系でも使われるようになってきている。このため、光源である半導体レーザーが使用される環境は、大きな温度変化があるなど、幹線系と比べて過酷になってきている。さらに、コストダウンの面からは、温度コントローラなしで半導体レーザーを使用したいという要求も高まっている。

【0006】また、情報容量を増大する1つの方法として波長多重伝送があるが、波長多重伝送では波長を精密に安定化することが必要となる。したがって、加入者系で波長多重伝送が広く利用されるためには、過酷な温度変動のある環境でも波長の安定な半導体レーザーが必要である。このような波長安定化レーザーを提案した文献としては、たとえば、特開平9-219561号公報がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この提案では、バンドギャップが温度に対して変化しない材料、すなわち屈折率が温度に対して変化しない材料を活性層と光ガイド層に用いる。そのため、非弾性歪みが入らない様に格子定数が大きく違わない状態で結晶を形成しようとする、結晶間でほぼ格子整合していなければならないので材料の組み合わせの選択範囲が狭いという欠点があった。また、バンドギャップが温度によって変化しないことから、温度上昇とともにキャリアのオーバーフローが生じ、そのため発振しきい電流が増加するという欠点もあった。

【0008】本発明の目的は、共振器長或は導波路の等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる効果と温度変化に対する発振しきい電流の変動を抑制する効果の少なくとも一方の効果を奏する半導体レーザー、及び等価屈折率を安定的にする為に導入される層を1種類或は数少ない種類の材料だけを用いて構成し、波長が安定であるのみでなく、かつ発振しきい電流の変動も容易に小さくできる構造を持つ半導体レーザーを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段および作用】上記目的を達成するため、本出願に係る第1の発明は、共振器長或は導波路の等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる効果と温度変化に対する発振しきい電流の変動を抑制する効果の少なくとも一方の為に、屈折率の温度係数が負の半導体層が用いられていることを特徴とする。屈折率の温度係数が負の半導体層によりこうした効果が奏される原理は後述される。レーザー光の存在する領域にこの半導体層が配置されていれば両方の効果が期待でき、レーザー光の存在しない領域にこの半導体層が配置されてい

きる。

【0010】また、上記目的を達成するため、本出願に係る第2の発明は、共振器長或は導波路の等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる様に、屈折率の温度係数が正の半導体層と、屈折率の温度係数が負の半導体層がレーザー光が存在する領域に用いられていることを特徴とする。この構成において、温度の変化に対して共振器長或は光導波路の等価屈折率がほぼ一定となるように設計できて、波長の安定な半導体レーザーを実現することができる。こうした効果が奏される原理も後述される。

【0011】以下の如きより具体的な形態も可能である。レーザー光が存在する領域に前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層がほぼ並行的に積層方向に積層されている。補償層（発明の原理説明の所で後述）が積層方向に配置される形態である。通常の半導体層成長プロセスで容易に作製される形態である。

【0012】積層方向に配置される形態で、クラッド層、光ガイド層、活性層のうち少なくとも1層が、夫々、前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層である様にできる。

【0013】更に、前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層の一方が半導体活性層である形態にできる。活性層は必ず一定程度の光閉じ込め係数を有するので、こうすれば、温度の変化に対して共振器長或は光導波路の等価屈折率をほぼ一定に設計し易くなる。この場合、前記半導体活性層を挟んだ上下の少なくとも一方に、屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層の他方がほぼ並行的に積層されていたりする。

【0014】前記屈折率の温度係数が正の半導体層が半導体活性層であれば、活性層の結晶品質を良好なものにし易くてレーザーの特性向上に資する。また、この場合、屈折率の温度係数が負の半導体層が活性層付近に配置されることになるので、共振器長或は導波路の等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる効果と温度変化に対する発振しきい電流の変動を抑制する効果の両方を達成する構成が容易に実現できる。

【0015】また、屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層が積層方向を法線とするほぼ同一面内であって、かつ光の伝搬方向に垂直な方向に配置され、かつレーザー光が存在する領域に前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層が配置されている。補償層が横方向に配置される形態である。この場合、屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層が交互に並行的に配置されていたりする。

【0016】横方向に配置される形態でも、前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負

の半導体層の一方が半導体活性層であってもよい。この場合、前記半導体活性層を挟んだ左右の少なくとも一方に、屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層の他方がほぼ並行的に配置されていたりする。前記屈折率の温度係数が正の半導体層が半導体活性層であってもよい。これらの形態の利点は、積層方向に配置される形態の説明の所で述べた通りである。

【0017】更に、上記積層方向の層配置構造と、積層方向と光の伝搬方向に垂直な方向（横方向）の層配置構造を合わせ持つ構成にもできる。こうすれば、積層方向および横方向の両方から等価屈折率を一定にすることができるので、より波長の安定な或は発振しきい電流の変動をより抑制できるレーザーが実現できる。

【0018】屈折率の正の温度係数 α と、屈折率の負の温度係数 β と、前記屈折率の温度係数が負の半導体層に対する光閉じ込め係数 Γ との間に $\beta = -(1 - \Gamma) \alpha / \Gamma$ なる関係があれば、より波長の安定なレーザーが実現できる。

$$n_{eff} = (1 - \Gamma) n_o + \Gamma n \quad (1)$$

共振波長は等価屈折率或は共振器長に比例するので、波長を安定化するには等価屈折率 n_{eff} が一定となる条件を求めればよい。ここで、屈折率の温度係数 α 、 β を導入し、温度変化 ΔT に対する屈折率の依存性を

$$n_{eff} = [(1 - \Gamma) n_o + \Gamma n_o] + [(1 - \Gamma) \alpha + \Gamma \beta] \Delta T \quad (4)$$

となる。この式において、第1項は一定だから、等価屈折率 n_{eff} が一定となり半導体レーザーの波長が安定化するためには、次の条件を満たせばよい。

$$\beta = -(1 - \Gamma) / \Gamma \cdot \alpha \quad (5)$$

より緩やかには、 $(1 - \Gamma) \alpha + \Gamma \beta$ がゼロ付近になる様に設計すればよい。半導体レーザーで用いられる半導体材料の温度係数 α の絶対値は 10^{-4} K^{-1} のオーダー★

$$\alpha(E) \approx 2 \times 10^{-4} (E - E_g) \text{ cm}^{-1} \quad (6)$$

ただし、 E 、 E_g の単位はeVである。

【0023】クラマース・クロニッヒの関係から、屈☆

$$\begin{aligned} n(E) &= 1 + ch / (2\pi^2) \cdot \int \alpha(E') / (E'^2 - E^2) \cdot dE' \\ &\quad (\text{積分範囲は0から}\infty) \\ &= 1 + ch / (2\pi^2) \cdot \int \alpha(E') / (E'^2 - E^2) \cdot dE' \\ &\quad (\text{積分範囲は}E_g\text{から}\infty) \\ &= 1 + c \cdot h / (2\pi E) \cdot 10^{-4} (E + E_g)^{-1/2} \\ &\quad (\text{式(6)を用いる}) \end{aligned} \quad (7)$$

で与えられる。ここで、 c は真空中の光速、 h はプランク定数である。ただし、バンド端のテールの効果は無視◆

$$n(E_g) = 1 + ch / (2\pi) \cdot 10^{-4} (2/E_g)^{-1/2} \quad (8)$$

となる。したがって、 $E_g = 0.8 \text{ eV}$ ($\lambda_g = 1.55 \mu\text{m}$) とし、式(8)の両辺を温度 T で微分すると、*

$$dn(E_g) / dT = -0.2 dn_o / dT \quad (9)$$

これから、屈折率の温度係数 $dn/dT < 0$ の材料では $dn_o/dT > 0$ となることがわかる。したがって、温

*【0019】上記の構造は、分布帰還型半導体レーザー、分布反射型半導体レーザー、或はファブリ・ペロー半導体レーザーとして構成され得る。

【0020】本発明の原理を以下に説明する。まず、半導体レーザーの波長安定化について、上記構成において、共振器長或は光導波路の等価屈折率を考える。簡単のために、半導体レーザーを構成している材料の屈折率を n_o とし、ここに屈折率を補償する層（正と負の屈折率の温度係数を持つ層は、互いに屈折率変化を補償し合う層であり、一方を他方に対してこう呼ぶが、単に補償層とも呼ぶ）を導入する。補償層の屈折率を n 、補償層に対する光の閉じ込め係数を Γ とすると（この層への光強度分布の部分の含有割合による）、等価屈折率 n_{eff} は近似的に次式で与えられる（ファブリ・ペローLDの場合、これに領域長を掛ければ共振器の光学長となり、DBR-LDの場合、これに活性層領域長を掛ければその領域の光学長になる）。

*【0021】

$$20 \times n_{eff} = n_o + \alpha \Delta T \quad (2)$$

$$n = n_o + \beta \Delta T \quad (3)$$

とおく。式(1)に式(2)、(3)を代入すると、等価屈折率 n_{eff} は

★一だから、たとえば $\beta = -\alpha$ の材料があるとすれば、光閉じ込め係数 Γ を0.5とすればよい。

【0022】次に、負の屈折率温度係数を持つ半導体層に依る発振しきい電流の変動の抑制効果について述べる。半導体の吸収係数 $\alpha(E)$ は、バンドギャップ E_g 以上のエネルギー E をもつ光に対して、近似的に次式で与えられる。

$$(6)$$

☆折率 $n(E)$ は

◆した（どうしても、考察に影響はない）。

【0024】この式から、 $E = E_g$ では

*次の関係が得られる。

$$(9)$$

度上昇にともなって、負の屈折率の温度係数を持つ層界面のバンドオフセットが上昇するため、キャリアのオー

パフローの抑制に効果があり発振しきい電流の変動が小さくなる。

【0025】負の屈折率の温度係数を持つ層が、レーザー光が存在する領域に配置された上記補償層である場合は、以上説明したように、波長だけでなく発振しきい電流の変動も小さい、すなわち温度特性の優れた半導体レーザーが実現できる。

【0026】屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層が積層方向を法線とする同一面内に配置され、かつレーザー光が存在する領域に前記屈折率の温度係数が正の半導体層と前記屈折率の温度係数が負の半導体層が配置されている構成においても、上記原理は同じである。すなわち、レーザー光は積層方向に垂直な方向にも分布している。したがって、積層方向に垂直な方向における光閉じ込め係数を考えれば、上の説明と同じ原理に基づいて、波長だけでなく発振しきい電流の変動も小さい、すなわち温度特性の優れた半導体レーザーが実現できる。

【0027】

【発明の実施の形態】（第1の実施例）図1は本発明の第1の実施例である波長安定化DFB半導体レーザーの特徴を最もよく表す図面であり、図1(a)は光の伝搬方向に沿った断面図、図1(b)は光の伝搬方向に垂直な面内での断面図である。同図において、11はアノード、12はカソード、21はクラッド層、22は光ガイド層、23は活性層、24は光ガイド層、25はクラッド層21と光ガイド層22の間に形成された回折格子、31は補償層、41は基板、51は高抵抗層である。

【0028】図1(a)の層構成は、下から、基板41(InP:屈折率3.188、厚み100 μ m)、補償層31(屈折率n、層厚d)、光ガイド層24(1.3 μ m組成のInGaAsP:屈折率3.35、層厚0.1 μ m)、活性層23(1.55 μ m組成のInGaAsP:屈折率3.43、層厚0.1 μ m)、光ガイド層22(1.3 μ m組成のInGaAsP:屈折率3.35、層厚0.1 μ m)、クラッド層21(InP:屈折率3.188、層厚3 μ m)である。光ガイド層22の上に形成された回折格子25は、ピッチ $\Lambda=2400$ Åの1次の回折格子である。なお、ここで示した屈折率の値は300Kでの値であり、活性層23の屈折率温度係数 α と補償層31の屈折率温度係数 β は、夫々、 $\alpha=-\beta=10^{-4}$ K $^{-1}$ としている。この様に、本実施例では、活性層23は正の温度係数を有し、補償層31は負の温度係数を有して、温度変化に対する導波路の等価屈折率の安定性を確保して発振波長の安定化を図っている。このときの発振波長は、両端面の反射が無視でき回折格子25に位相シフトがない場合は、ストップバンドの両端の波長の何れかであり、回折格子25に位相シフト($\lambda/4$ シフト)がある場合は、格子ピッチと等価屈折率で決まるブラッグ波長である。

【0029】上記構成において、アノード11とカソード12の間に順バイアス電圧を印加し、半導体レーザーに発振しきい値以上の電流を流すと、レーザー発振が始まる。なお、端面の断面を示す図1(b)において、高抵抗層51はFeドープInPであり、発光部の他に余分な電流が流れないようにするために導入されている。

【0030】以下に、上記の構成において補償層31の層厚と300Kでの屈折率を変化させたときに、レーザーの種々の特性がどう変化するかを述べる。

【0031】先ず、図2は、レーザー発振時の素子の中のレーザー光の電界分布を数値解析によって求めた図であり、補償層31の屈折率と層厚をそれぞれ $n=3.30$ 、 $d=0.8\mu$ mとした。負の屈折率温度係数を持つ補償層31の材料は、たとえば、HgCdTe混晶、HgCdSe混晶、GaInAsBi混晶、GaInPBi混晶、GaAsPBi混晶、GaInTlP混晶、AlInTlAs混晶、AlGaInTlPAs混晶、GaInNAs混晶、GaInNAsP混晶など(何れも適当な組成比を持つもの)があるが、屈折率の温度係数が負の材料であれば何でもよい。なお、補償層31は活性層23から放出されるレーザー光に対して透明なことが望ましく、補償層31のバンドギャップが活性層23のバンドギャップよりも大きい方がよい。或は、補償層が第2の活性層として働く材料から成っていてもよい。

【0032】上記式(5)からわかるように、補償層31に対する光閉じ込め係数 Γ が大きいほど、温度係数 β の絶対値が小さくてもよいので、補償層の材料の選択の余地が広がり好ましい。それと同時に、活性層23に対する光閉じ込め係数 Γ_a が成るべく大きくなるようにすることが、低発振しきい電流を実現する上で重要である。

【0033】次に、図3は、補償層31の屈折率を $n=3.30$ としたときの補償層31と活性層23の光閉じ込め係数 Γ 、 Γ_a の補償層31の層厚dに対する依存性を示す図である。この図から分かるように、補償層31の層厚dが大きくなるにつれて、補償層31に対する光閉じ込め係数 Γ は大きくなるが、活性層23に対する光閉じ込め係数 Γ_a は徐々に小さくなる。しかし、低発振しきい値を実現するためには、 Γ_a は0.1程度あるいはそれ以上であれば十分であり、この計算では、おおむね $d \leq 1\mu$ mの範囲でこの条件を満たしている。上記の $n=3.30$ 、 $d=0.8\mu$ mはこの条件を満たしている。また、補償層31に対する光閉じ込め係数が $\Gamma=0.5$ となるのは、 $d=0.67\mu$ mのときである。

【0034】更に、ここでは、1.55 μ m帯のDFB-LDを考えており、1次の回折格子のピッチは $\Lambda=2400$ Åである。このとき、発振波長のシフト $\Delta\lambda$ は、等価屈折率の変化 Δn_{eff} を用いて

$$\Delta\lambda = 2\Delta n_{eff} \Lambda \quad (10)$$

と表される。

【0035】補償層31の層厚を $d = 0.67 \mu\text{m}$ に固定し、補償層31の300Kでの屈折率 n をパラメータとすると、発振波長のシフト $\Delta\lambda$ の温度依存性と活性層23に対する光閉じ込め係数 Γ_a の温度依存性は図4のようになる。図4(a)に示す様に、発振波長の温度に対する変化は、 $n = 3.34$ においてはほぼフラットになる。このときの最大波長シフトは -1.06 \AA である。波長変化がほぼフラットになる屈折率が3.34であり、先に述べた3.30よりも大きくなるのは、温度上昇とともに補償層31の屈折率が小さくなるため（補償層31の屈折率温度係数は負である）、補償層に対する光閉じ込め係数 Γ が小さくなるからである。この屈折率減少分を予め見込んで光導波路を設計することで、波長変化の小さい半導体レーザーを実現することができる。また、 $n = 3.32 < 3.34$ のときは $\Delta n_{\text{eff}} / \Delta T > 0$ となるので（活性層23の正の屈折率温度係数の方が大きく効いている）、発振波長は長波側にシフトし、 $n = 3.36 > 3.34$ のときは $\Delta n_{\text{eff}} / \Delta T < 0$ となるので（補償層31の負の屈折率温度係数の方が大きく効いている）、発振波長は短波側にシフトする。

【0036】図4(b)は活性層23に対する光閉じ込め係数 Γ_a の温度依存性を示したものである。温度上昇とともに、活性層23の屈折率が上昇すると同時に（活性層23の屈折率温度係数は正である）、補償層31の屈折率が減少するので、活性層23の光閉じ込め係数 Γ_a は大きくなる。一般に温度が上昇すると、キャリアのオーバーフロー、非発光再結合過程に係るオージェ効果、価電子帯間吸収などのため、発振しきい電流が上昇する。しかし、 Γ_a の増加は発振しきい電流を低減する効果があり、上記の構成は波長変化が小さいだけでなく特性温度も大きくできると期待される。また、図4

(b)から分かる様に $n = 3.34$ のとき $\Gamma_a \approx 0.1$ であり、発振しきい電流そのものも十分小さいと考えられる。なお、補償層31の屈折率 $n = 3.32 < 3.34$ のときは、電界分布のピークが $n = 3.34$ の時よりも活性層23側にシフトするため、 Γ_a が大きくなる。一方、補償層31の屈折率 $n = 3.36 > 3.34$ のときは、電界分布のピークが補償層31側にシフトするため、 Γ_a が小さくなる。

【0037】図5は、補償層31の屈折率を $n = 3.34$ に固定し、補償層の厚み d をパラメータとしたとき、発振波長のシフト $\Delta\lambda$ の温度依存性と活性層23に対する光閉じ込め係数 Γ_a の温度依存性を示した図である。まず、発振波長のシフト $\Delta\lambda$ を考える。図5(a)に示すように、 $d = 0.57 \mu\text{m} < 0.67 \mu\text{m}$ の場合、補償層31に対する光の閉じ込めが小さいため、負の屈折率温度係数を持つ補償層の寄与が小さく、発振波長は長波側にシフトする。一方、 $d = 0.77 \mu\text{m} > 0.67 \mu\text{m}$ のときは、補償層31に対する光の閉じ込めが大き

過ぎるため、補償層の屈折率が小さくなる効果が優勢となり、発振波長は短波側にシフトする。図5(b)は活性層23に対する光閉じ込め係数 Γ_a の温度依存性を示したものである。図2にも示したように、基板41に近いところでは光の染み出しが小さい。したがって、補償層31の厚さを或る程度以上増していても余り効果がなくなり、図3のように、補償層31の厚さ d を増していくと、活性層23に対する光閉じ込め係数 Γ_a は d の変化に対して飽和傾向を示す。この結果、補償層31の厚さ $d = 0.67 \mu\text{m}$ と $d = 0.77 \mu\text{m}$ とで、 Γ_a の温度依存性がほぼ等しくなっている。

【0038】本実施例の構成において、以上のことを考慮して、場合に応じて補償層31の厚さと300Kでの屈折率を設計すればよい。

【0039】ところで、屈折率の温度係数 $dn/dT < 0$ の材料を補償層31として用いるが、このような材料では、上記式(9)から $dE_g/dT > 0$ である。したがって、温度上昇にともなって、補償層界面のバンドオフセットが大きくなるため、これもキャリアのオーバーフローの抑制にも効果がある。こうして、発振しきい電流の温度変化に対する指標である特性温度は150Kであり、温度特性の優れたレーザーとなる。以上説明したように、第1の実施例によれば、発振波長だけでなく発振しきい電流の変動も小さい、すなわち温度特性の優れた半導体レーザーが実現できる。

【0040】なお、第1の実施例では、図1(b)のように埋め込み構造としたが、光導波路はリッジ導波路やリブ導波路でもかまわない。また、光導波路が光ガイド層を含まなくてもよい。回折格子を用いた半導体レーザーの場合、回折格子も光ガイド層ではなく、基板に形成してあってもよい。また、DFB-LDだけでなく、DBR-LDであっても本実施例と同様な効果が期待できる。DBR-LDの場合、回折格子（分布反射器）領域と活性層領域の両方において、正と負の屈折率温度係数の層を近くに形成した上記の様な層構成にする。

【0041】回折格子を含まないファブリ・ペローLDでも、正と負の屈折率温度係数の層を近くに形成した層構成にすれば、共振器長が安定にほぼ一定に維持されて、温度変化に伴う共振波長の変動や発振しきい電流の変動は小さくなる。但し、ファブリ・ペローLDの場合は、発振波長は利得スペクトルの形状の変化の影響も受けるので（上記の構成では、正の屈折率温度係数を持つ活性層による利得スペクトルの形状は温度変化で多少変化する）、この波長安定性はDFB-LDやDBR-LDの波長安定性より若干劣ることになる。

【0042】また、本実施例では、補償層31を基板41上に形成したが、レーザー光の電界が分布している範囲であれば、どこに形成してもかまわないし、補償層31を光ガイド層、活性層、あるいはクラッド層として用いてもよい（正の屈折率温度係数を持つ層は、当然、別

にある)。また、補償層の数も1層に限らず、複数でもよい。層厚を大きくすると歪みによる転位が問題となる場合には、補償層の層厚を小さくして複数層にするのが良い。補償層以外の半導体材料についても、本実施例で示したInGaAsP系に限らず、どのような材料であってもよい。

【0043】また、上記実施例では、活性層を正の屈折率温度係数を持つ材料で形成し、補償層を負の屈折率温度係数を持つ材料で形成したが、この逆であってもよい。但し、負の屈折率温度係数を持つ材料の結晶品質は悪くなりがちであるので、活性層にはこの材料を用いない方が好ましいとは言える。また、温度上昇に伴うオーバーフローの抑制の効果、活性層の閉じ込め係数の増大の点では、この組み合わせは好ましいとは言えず、発振しきい電流の安定性は上記実施例の構成に比べて劣る。

【0044】(第2の実施例) 図6は本発明の第2の実施例の特徴を最もよく表す図面であり、同図において、負の屈折率温度係数を持つ補償層31が活性層23の上下に位置している。これは、回折格子が不図示としてDFB-LDと考えるとよいし、回折格子のないファブリ・ペローLDと考えるとよい(DBR-LDの構成では、回折格子領域(ここでは活性層はガイド層に置き換わっている)と活性層領域の両方が図6のような層構成を持つと考えればよい)。図1の符号と同じものは同一機能部分であることを示す。

【0045】上記構成において温度が上昇すると、負の屈折率温度係数を持つ補償層31が活性層23の上下にあるので、電子、正孔両方に対するエネルギー障壁が大きくなる。したがって、第1の実施例よりもさらにキャリアのオーバーフローを低減することができる。この結果、発振しきい電流の変動が第1の実施例よりもさらに小さくなる。特性温度は、第1の実施例では150Kであるが、第2の実施例では250Kまで向上し、温度特性の優れたレーザーとなる。なお、補償層31の数は2層に限らず、3層以上であってもよい。その他の点は、第1実施例と同じである。

【0046】(第3の実施例) 図7は本発明の第3の実施例の特徴を最もよく表す図面である。同図は、端面の断面を示しており、本実施例では、補償層31が活性層23の横方向両脇に位置している。この例でも、回折格子が不図示としてDFB-LDと考えるとよいし、回折格子のないファブリ・ペローLDと考えるとよい(DBR-LDの構成では、回折格子領域(活性層はガイド層に置き換わっている)と活性層領域の両方が図7のような層構成を持つと考えればよい)。図1の符号と同じものは同一機能部分であることを示す。

【0047】この構成において、半導体層の積層方向と光伝搬方向に垂直な方向にもレーザー光が分布しており、補償層31を、レーザー光が分布している範囲内に配置することで、第1の実施例と同じ効果が期待でき

る。さらに、もし補償層の結晶品質があまり良くなくても、補償層31が活性層23と積層方向に積層されていないことから、活性層23の結晶品質に悪影響を与えることなく素子を作製することができる。

【0048】本実施例は、例えば、次の様に作製される。基板41上に光ガイド層22まで積層した後、横方向を図7に示す様にエッチングし、そこにクラッド層21を、先ず、活性層23のレベル辺りまで埋め込む。続いて、マスクを用いて活性層23の両脇に補償層31を選択的に成長し(その際、製法に起因して活性層23と補償層31の間は図示の如く若干空くが、これは機能的に要求されるものではない)、更にその上にクラッド層21を図示の如く積層する。

【0049】なお、光導波構造は、埋め込み構造に限らず、リッジ導波路やリブ導波路でもかまわない。また、補償層31も活性層23の脇に位置されていさえすればよく、補償層31と活性層23の高さ方向の位置が異なってもよい。

【0050】温度変化に対して導波路の等価屈折率或は共振器長がほぼ一定に保たれて波長安定化が図られる原理は、第1実施例と同じであり、その他の点も第1実施例と同じである。

【0051】(第4の実施例) 図8は本発明の第4の実施例の特徴を最もよく表す図面である。同図は、端面の断面を示しており、補償層31と活性層23が光の伝搬方向に伸びて横方向に並行的に交互に並んでいる。この例でも、回折格子が不図示としてDFB-LDと考えるとよいし、回折格子のないファブリ・ペローLDと考えるとよい(DBR-LDの構成では、回折格子領域(活性層はガイド層に置き換わっている)と活性層領域の両方が図8のような層構成を持つと考えればよい)。図1の符号と同じものは同一機能部分であることを示す。

【0052】この構成においても、温度変化に対して導波路の等価屈折率或は共振器長がほぼ一定に保たれて波長安定化が図られる原理は、第1実施例と同じであり、第1の実施例と同じ効果が期待できる。本実施例の交互層構造は少し作製が面倒であるが、補償層31と活性層23の光閉じ込め係数が容易に同程度にできる。

【0053】交互配置の形態は、補償層31と活性層23の層厚、幅、積層面の同異、周期性の程度等について、多様であり得る。要は、共振器長或は等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定である様に構成されていればよい。

【0054】但し、本実施例は、温度上昇に伴うオーバーフローの抑制の効果は余り期待できない。その他の点は第1実施例と同じである。

【0055】(その他の実施例) 図9は本発明の第5の実施例の特徴を最もよく表す図面である。同図は、端面の断面を示しており、補償層31が活性層23の両脇と基板41の上に形成されている。

【0056】この構成において、第1の実施例よりも更に波長変動と発振しきい電流の小さい優れた温度特性が期待できる。その他の点は第1、第3の実施例と同じである。

【0057】さらに、図10のように、図1の第1実施例と図8の第4実施例を組み合わせた構造でも、同様な効果が期待できる。

【0058】この様に、光路長或は等価屈折率が温度変化に対してほぼ一定になる様に、屈折率の温度係数が正の半導体層と屈折率の温度係数が負の半導体層を並行的、直列的に適当に配置して形成する態様は多様であり、その他にも色々な形態が可能である。

【0059】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の半導体レーザーによれば、温度の変化に伴う波長の変動（或は、構成によっては、発振しきい電流の変動）の小さい温度特性の優れた半導体レーザーを実現することができる。

【0060】また、補償層の横方向配置構成によれば、もし活性層以外の補償層の結晶品質があまり良くななくても、補償層が活性層と積層方向に積層されていないことから、活性層の結晶品質に悪影響を与えることのない素子も作製できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る波長安定化半導体レーザーの構造を説明する図である。

【図2】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザーの中の電界分布を説明する図である。

【図3】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザーにおいて、補償層と活性層の光閉じ込め係数の補償層の厚みに対する依存性を説明する図である。

【図4】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザーに*

*において、波長シフトと活性層の光閉じ込め係数の温度上昇に対する依存性を説明する図である。この図において、補償層の厚みは一定であり、パラメータは補償層の300Kでの屈折率である。

【図5】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザーにおいて、波長シフトと活性層の光閉じ込め係数の温度上昇に対する依存性を説明する図である。この図において、補償層の300Kでの屈折率は一定であり、パラメータは補償層の厚みである。

10 【図6】本発明の第2の実施例に係る波長安定化半導体レーザーの構造を説明する図である。

【図7】本発明の第3の実施例に係る波長安定化半導体レーザーの構造を説明する図である。

【図8】本発明の第4の実施例に係る波長安定化半導体レーザーの構造を説明する図である。

【図9】本発明の第5の実施例に係る波長安定化半導体レーザーの構造を説明する図である。

【図10】本発明の第6の実施例に係る波長安定化半導体レーザーの構造を説明する図である。

20 【符号の説明】

11 アノード

12 カソード

21 クラッド層

22 光ガイド層

23 活性層

24 光ガイド層

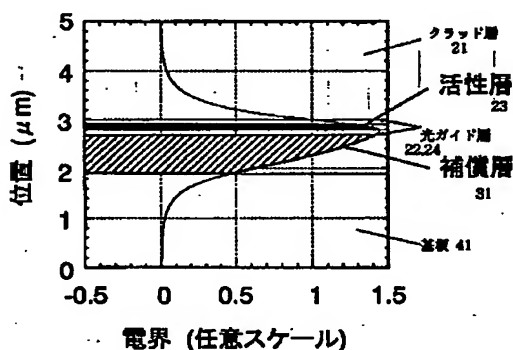
25 回折格子

31 補償層

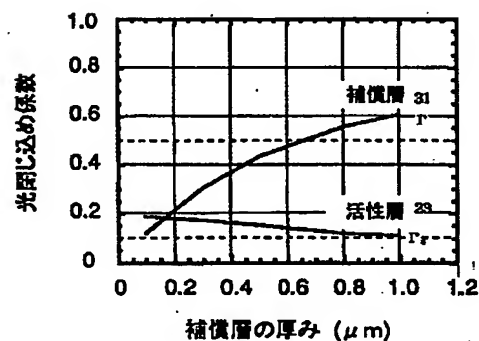
41 基板

30 51 高抵抗層

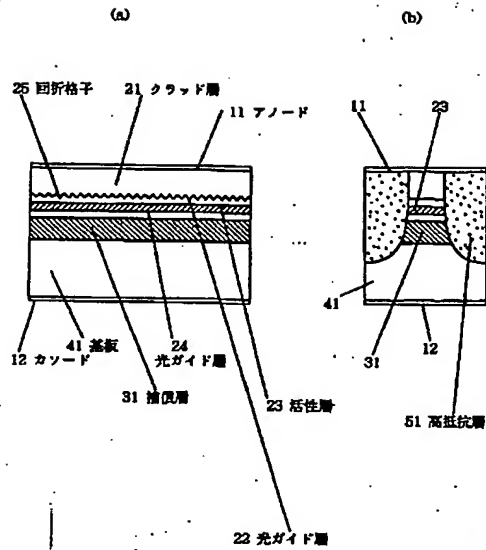
【図2】



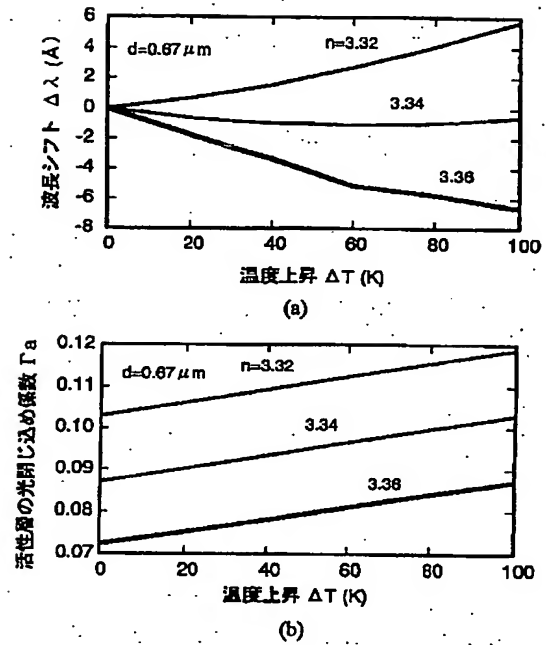
【図3】



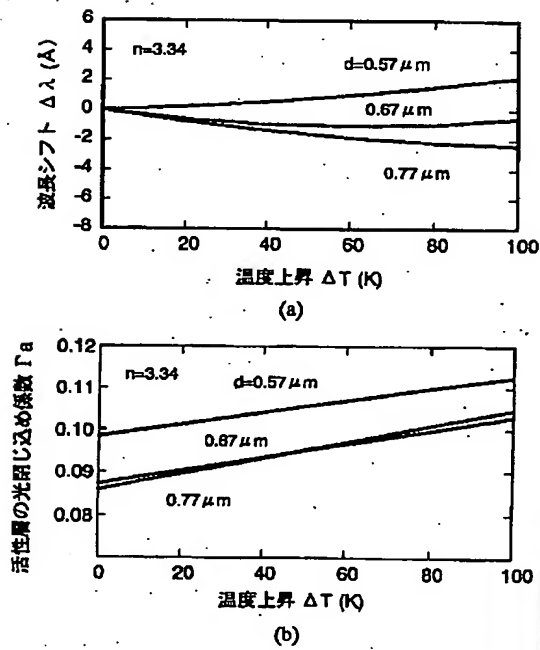
【図1】



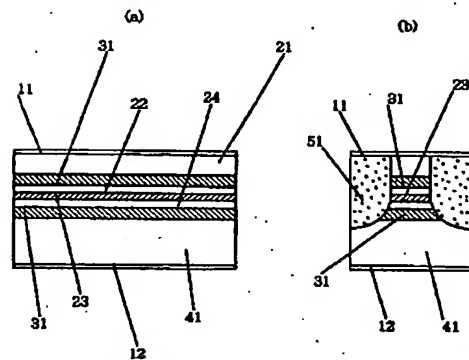
【図4】



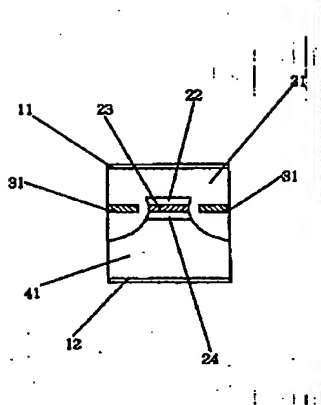
【図5】



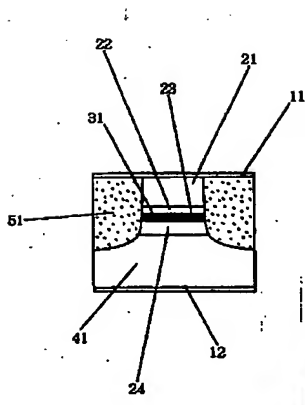
【図6】



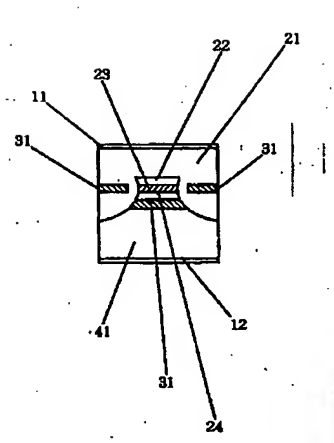
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

